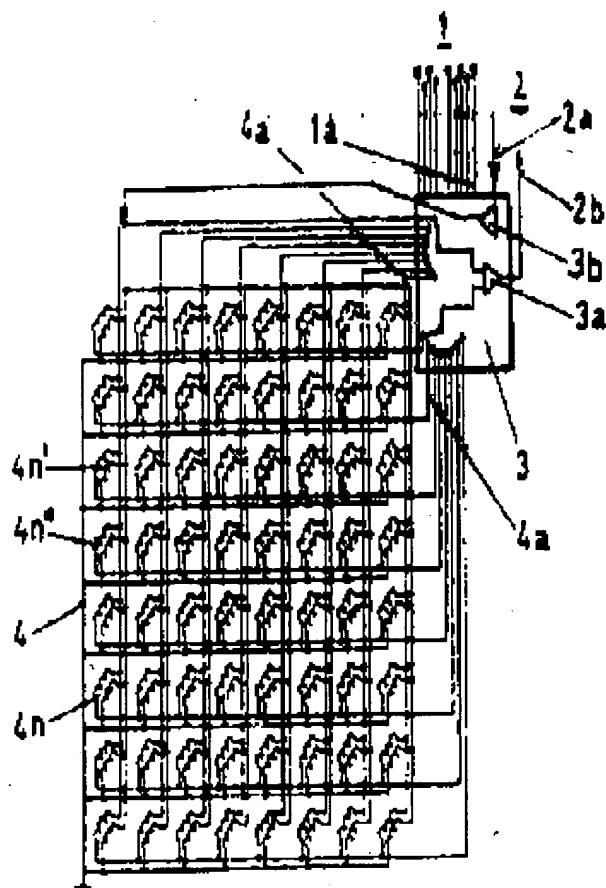


AN: PAT 1990-148169  
TI: Non-destructive eddy-current tester has pairs of coils excited and sampled by multiplexer in clock circuit pre-programmed for computerised scanning of flexible test mat  
PN: **CH673896-A**  
PD: 12.04.1990  
AB: The coils are arranged in closely coupled pairs at the crosspoints of two matrix arrangements of wires in a flexible test mat (4). Each individual eddy-current probe consists of a transmitting coil (4n') and a receiving coil (4n''). A transmission signal (2a) from the eddy-current equipment (2) is amplified (3b) for application to the test mat (4). The information from the receiving coils (4n'') is returned to the multiplexer (3) which samples each probe in turn. The positional co-ordinate of each test location is determined from the sequence of excitation of the pairs of coils (4n',4n'').; For inspection of e.g. gas turbine blades. Geometrical errors are excluded and test mat can be fitted closely to curved test piece. Signal dynamics in presence of flaws is improved.  
PA: (ALLM ) ASEA BROWN BOVERI A;  
IN: SCHMIDT R; SCHOLZ A;  
FA: **CH673896-A** 12.04.1990;  
CO: CH;  
IC: G01N-027/90;  
MC: S03-E11A;  
DC: S03;  
FN: 1990148169.gif  
PR: CH0000293 28.01.1988;  
FP: 12.04.1990  
UP: 14.05.1990





SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 673 896 A5

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup>: G 01 N 27/90

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**  
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

## ⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑮① Gesuchsnummer: 293/88

⑮② Anmeldungsdatum: 28.01.1988

⑮④ Patent erteilt: 12.04.1990

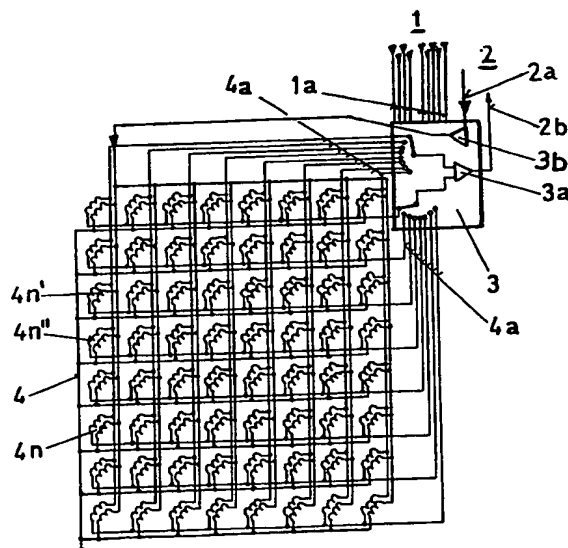
⑮⑤ Patentschrift  
veröffentlicht: 12.04.1990

⑮⑦ Inhaber:  
ASEA Brown Boveri AG, Baden

⑮⑦ Erfinder:  
Schmidt, Robert, Waldshut-Tiengen 2 (DE)  
Scholz, Arthur, Wettingen

### ⑮⑥ Vorrichtung für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung.

⑮⑦ Bei der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung an Bauteiloberflächen mittels eines Wirbelstromgerätes (1) besteht die Vorrichtung an der zu prüfenden Oberflächen aus einer Vielzahl von nebeneinander angeordneten Wirbelstromsonden (4n). Diese bilden eine nach Flächenform und Flächengrösse beliebige, ebene oder gewölbte Sondenmatte (4), welche die jeweils zu prüfende Bauteiloberfläche deckend erfassen. Die einzelnen Wirbelstromsonden (4n) bestehen je aus einer Senderspule (4n') und einer Empfängerspule (4n''). Ein aus dem Wirbelstromgerät (2) initiiertes Sendersignal (2a) geht über einen Verstärker (3b) im Multiplexer (3) auf die Sondenmatte (4) und erfasst dort alle Wirbelstromsonden (4n), während deren Informationen als Empfängerimpulse (4a) in den Multiplexer (3) rückgeführt werden, was eine matrixartige Erfassung aller Sonden (4n) ergibt. Die angesteuerten Spulen (4n', 4n'') laufen durch eine im Rechner (1) vorprogrammierte Taktschaltung ab, wobei aus der Reihenfolge der Ansteuerung der Spulen (4n', 4n'') die Lagekoordinate des jeweiligen Prüfortes festgelegt wird.



## PATENTANSPRÜCHE

1. Vorrichtung für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung an Bauteiloberflächen mittels eines Wirbelstromgerätes mit einer Wirbelstromsonde, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vielzahl von nebeneinander angeordneten Wirbelstromsonden (4n) eine nach Flächenform und Flächengrösse beliebige, ebene oder gewölbte Sondenmatte (4) bilden, wobei die einzelnen Wirbelstromsonden (4n) eine Spulenordnung für Sendersignal (2a) und Empfängersignal (2b) aufweisen, und wobei diese Spulenordnung vom Wirbelstromgerät (2) angesteuert ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Spulenordnung einer Wirbelstromsonde (4n) aus einer Senderspule (4n') und einer Empfängerspule (4n'') besteht.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Spulenordnung einer Wirbelstromsonde (4n) aus einer Spule besteht, die Senderspule (4n') und Empfängerspule (4n'') ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Empfängerspule (4n'') ein Hall-Sensor ist.

5. Verfahren zum Betrieb der Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die vom Wirbelstromgerät (2) angesteuerte Spulenordnung durch eine in einem Rechner (1) vorprogrammierte Taktschaltung abläuft, wobei aus der Reihenfolge der Ansteuerung der Spulenordnung die Lagekoordinate des jeweiligen Prüfortes festgelegt wird.

## BESCHREIBUNG

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung an Bauteiloberflächen mittels eines Wirbelstromgerätes mit einer Wirbelstromsonde. Sie betrifft auch ein Verfahren zum Betrieb dieser Vorrichtung.

Bei der Wirbelstromprüfung werden sogenannte Tastsonden in Bleistiftform oder Abwandlungen derselben zum Nachweis von Oberflächenrissen in Maschinenbauteilen sowie zur Bestimmung von Schichtdicken auf Metalloberflächen verwendet. Diese Tastsonden bestehen aus einer oder zwei getrennten Spulen, wobei Teile dieser Spulen zusätzlich einen gegenläufigen Wicklungssinn aufweisen können. Man nennt sie verschiedentlich, nämlich Absolut-, Brückendifferential-, Sender/Empfänger-, Empfänger-differential- und Empfänger-mehrfach-differentialsysteme. Neuerdings wird auch auf die Möglichkeit hingewiesen, eine flexible einlagige Prüfspule in Form einer archimedischen Spirale zum Einsatz zu bringen. Zum Stand der Technik gehört des weiteren, das getaktete Umschalten von bis zu 4 Prüfkanälen bei der Mehrfrequenzprüftechnik oder von derzeit bis zu 8 Sonden-Teilsulen bei der Prüfung von Wärmetauscherrohren zur Erreichung einer Auflösung in Umfangsrichtung vorzunehmen.

Die Wirbelstromprüfung mit Tastsonden wird durch Störsignale behindert, die von Abhebe- und Kippbewegungen der Sonde selbst sowie von Bauteilkanten in Sondennähe her-rühren. Abhilfe hiergegen wird durch folgende Massnahmen angestrebt:

- Mechanische Führungshilfen;
- Elektronische Trennung von Stör- und Nutzsignal, soweit als möglich,
- Bauweise der Sonden in sogenannter Differenz- und Mehrfachdifferenzschaltung;
- Elektronische Signalbeeinflussung (Mischen, Zusatzspannung);
- Ausnützung der Signaldynamik bei Überfahren eines Risses.

Die Wirksamkeit dieser Massnahmen ist indessen

beschränkt und in vielen Fällen für eine gesicherte Prüfaussage unzureichend, so bei rauher Oberfläche des zu prüfenden Stückes oder bei schlechter Zugänglichkeit zur Prüf-stelle. Letztere Unzulänglichkeit ist bei Gasturbinen-Schau-feln nach dem Betrieb regelmässig der Fall. Bezüglich der daraus entstehenden Störeffekte ist zu sagen, dass eine sichere Signalinterpretation grosse Fachkenntnisse und Erfahrung verlangt. Liegen diese Voraussetzungen nicht vor, so ist eine wirtschaftlich interessante Einsatzmöglichkeit dieses Prüfverfahrens nicht gegeben. Dies stört insbesondere dann, wenn auch die üblichen Oberflächenmessmethoden in ihrer Anwendung wesentlich eingeschränkt sind, beispielsweise wenn die Zugänglichkeit und/oder Sauberkeitsanfor-derungen bei dem Magnetpulververfahren unzureichend ist, oder wenn der Oberflächenzustand des zu prüfenden Stückes bei der Eindringprüfung die Minimalanforderungen nicht zu erfüllen vermag.

Hiergegen greift die Erfindung ein. Der Erfindung, wie sie in den Ansprüchen gekennzeichnet ist, liegt die Aufgabe zugrunde bei einer Vorrichtung und einem Verfahren der eingangs genannten Art eine höhere Aussagekraft über die Beschaffenheit des zu prüfenden Oberflächenbereichs zu erreichen.

Der wesentliche Vorteil der Erfindung ist darin zu sehen, dass die vorne beschriebenen geometrischen Störeffekte ausgeschaltet werden. Dies ist insofern möglich, als die matten-artige Anordnung von Sonden (Sondenmatte) durch eine Taktschaltung nacheinander mit einem herkömmlichen Wirbelstromprüfgerät verbunden werden, indem die Prüfsignale sequentiell in einen Rechner eingegeben und in geeigneter Form am Bildschirm dargestellt werden.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil der Erfindung ist darin zu sehen, dass sich die Sondenmatte zwar an gewölbten Prüf-stücken anpassen kann, andererseits aber wegen ihrer Steifig-keit sich in einer, trotz örtlicher Unebenheit, zueinander definierten Lage, z. B. in einer harmonischen Sattelfläche, hält. Aus dieser Beschaffenheit heraus ergeben sich folgende weitere Vorteile der Erfindung:

- Eine örtliche Schwankung der Sondenlage mit kurzer Dauer und die Erzeugung entsprechender Störsignale sind nicht mehr möglich, womit sich die Signaldynamik bei lokalen Oberflächenfehlern, beispielsweise Rissen, wesentlich verbessert.
- Die Koordinaten des Prüfortes sind nun ohne störenden Weggeber genau lokalisierbar, womit dann unter Anwen-dung des Rechners eine dreidimensionale Darstellung der Signalortskurven am Bildschirm erzeugt werden, welche dann für den Fehlernachweis wesentlich leichter und sicherer zu interpretieren sind.

- Bei komplizierten Bauteilkonturen besteht ferner die Möglichkeit, aus der Form der Signalortskurven auf die Ein-haltung einer sauberen Positionierung der Sondenmatte zu schliessen. Dieser Vorteil macht sich insbesondere dort bemerkbar, wo Prüfungen an schwer zugänglichen Bauteil-flächen ohne Sichtkontakt vorgenommen werden müssen.

- Wesentliche Kosteneinsparungen ergeben sich aus der Möglichkeit heraus, durch nun höhere Prüfgeschwindigkeit fabrikationsbegleitende Prüfungen vorzunehmen; sodann auch, dass diese Prüfungen durch den Einsatz weniger quali-fizierten Personals durchgeführt werden können; ferner, dass diese Prüfungen ohne Demontage eines zu prüfenden Bauteils vorgenommen werden können, insbesondere bei Service-Inspektionen an schwer zugänglichen Bauteilen bei Gas- und Dampfturbinen.

Vorteilhafte und zweckmässige Weiterbildungen der erfin-dungsgemässen Aufgabenlösung sind in den abhängigen Patentansprüchen gekennzeichnet.

Im folgenden wird anhand der Zeichnung ein Ausführ-

rungsbeispiel und mehrere, jedoch nicht abschliessende Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung erläutert. Alle für das unmittelbare Verständnis der Erfindung nicht erforderlichen Elemente sind fortgelassen. In den verschiedenen Figuren sind jeweils gleiche Elemente mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Es zeigt:

Fig. 1 ein Schaltbild zur Prüfungsanordnung,

Fig. 2 eine Ausführung einer Sondenmatte und

Fig. 3-6 mögliche Anwendungsmöglichkeiten der Sondenmatte.

Zum besseren Verständnis sind Fig. 1 und 2 gleichzeitig heranzuziehen. Wie aus Fig. 1 hervorgeht, besteht die Schaltung aus einem Rechner 1, einem Wirbelstromgerät 2, einem Multiplexer 3 und einer Sondenmatte 4. Der Rechner 1 steuert über die Steuerleitungen 1a den Multiplexer 3 und verarbeitet die gemäss einem Steuerprogramm aus dem Wirbelstromgerät 2 kommenden Informationen 2c zu einem indizierten dreidimensionalen Bild. Beim Wirbelstromgerät 2 handelt es sich um ein konventionelles Prüfaggregat, bei dessen Einsatz im Prüfling Wirbelströme erzeugt werden, deren induktive Rückwirkung auf eine Messspule gemessen wird. Aufgrund von Änderungen der elektrischen Leitfähigkeit und der magnetischen Permeabilität werden Änderung der Härte, der Legierungsart und, insbesondere, Fehlerstellen des Prüfstückes nachgewiesen. Wie aus Fig. 2 hervorgeht, wird das Prüfstück nicht mit einer Tastsonde abgetastet, sondern zu dessen Prüfung eine Sondenmatte 4 eingesetzt, welche aus einer Vielzahl von einzelnen Wirbelstromsonden 4n aus einem elektrisch leitenden Material besteht. Die zur flächendeckenden Prüfung an Bauteiloberflächen einsetzbare Sondenmatte 4 besteht aus einer flexiblen Trägerfolie oder Folienkombination, die mit dem Bauteil in Kontakt kommt und sich dessen Oberfläche in gewünschter Weise anzupassen vermag, gleichzeitig aber die Beweglichkeit der einzelnen Sonden 4n gegeneinander derart einschränkt, dass sie in einer gemeinsamen Sattelfläche verbleiben, und auf diese Weise örtliche Unebenheiten der Bauteiloberfläche ausgleicht. Die einzelnen Sonden 4n sind gemäss Fig. 2 aus einer Senderspule 4n' und Empfängerspulen 4n'' aufgebaut; sie können gegebenenfalls aus feldbeeinflussenden Elementen aufgebaut sein oder auch aus einer oder mehreren Schichten einlagiger Spulen bestehen. Im letzteren Fall vorzugsweise in Form von Folien mit beispielsweise photochemisch aufgetragenen Leiterbahnen. Die Einsetzbarkeit der Sondenmatte 4 erfolgt vorzugsweise in der Art, dass ein möglichst formschlüssiges Anliegen an das Bauteil durch hydraulische, pneumatische oder anderweitig elastische Kissen, unter Verwendung vorgeformter Stützstrukturen erreicht wird. Indem die Wirbelstromsonden 4n mechanisch miteinander verbunden sind, ergibt dies eine Unterdrückung geometrisch bedingter Störsignale, wie Kippung, Abhebung, Kanten etc., sowie das Erkennen werkstoffbedingter Störeinflüsse, wie Wärmebehandlung und ähnliches, letzteres allerdings soweit deren Ausdehnung grösser als 3 Elementabstände beträgt. Die einzelnen Wirbelstromsonden 4n der Sondenmatte 4 sind direkt oder indirekt mit dem Wirbelstromgerät 2 verbunden. Ein daraus initiiertes Sendersignal 2a geht über einen Verstärker 3b im Multiplexer 3 auf die Sondenmatte 4 und erfasst dort alle Sonden 4n, während deren Informationen als Empfängerimpulse 4a in den Multiplexer 3 rückgeführt werden, was eine matrixartige Erfassung aller Sonden 4n ergibt. Die Empfängerimpulse 4a werden über einen weiteren Verstärker 3a an das Wirbelstromgerät 2 weitergeleitet. Eine elektronische Taktschaltung, die über ein Programm im Rechner 1 gesteuert ist,

erlaubt, die einzelnen Wirbelstromsonden 4n der Sondenmatte 4 in fest vorgegebener oder in rechnergestützt freier Wahl sequentiell über das Wirbelstromgerät 2 anzusteuern. Das Rechnerprogramm verarbeitet die vom Wirbelstromgerät 2 kommenden Informationen 2c, die aus den vorangehenden Empfängersignalen 2b vom Multiplexer 3 geformt sind, analog der bei der Ultraschallprüfung üblichen Bildgestaltung. Dies ermöglicht, insbesondere bei schlecht zugänglichen Bauteiloberflächen, eine Beurteilung der Fehlergrösse ohne Sichtkontakt zur Prüfsonde. Ausgehend von einer bekannten Geometrie der Sondenmatte 4 ist über die durch den Rechner 1 immittierte Taktsequenz möglich, die Lagekoordinaten des jeweiligen Prüfortes zu ermitteln, wo aufgrund des dreidimensionalen Bildes Fehler im Grundmaterial ersichtlich werden. Bei sukzessiver seitlicher Verschiebung der Sondenmatte 4 um eine definierte Strecke kann mittels eines geeigneten Rechnerprogrammes eine flächenverschobene Addition des signalisierten Fehlers vorgenommen werden, womit eine geometrische Signaldarstellung entsteht, bei welcher etwaige stochastische Störeinflüsse unterdrückt werden. Diese Art von Signaldarstellung (Signalmitteilung) kann, wenn ein markantes Signal im Bereich der Sondenmatte 4 vorliegt, auch dann erreicht werden, wenn bei schlecht zugänglichen Bauteiloberflächen die Wegstrecke der Verschiebung an sich nicht direkt bekannt ist. Sie kann in diesem Fall aus der Ortsverteilung des Signals indirekt ermittelt werden, womit auch hier auf eine Zuhilfenahme eines an sich behindernden Weggebers verzichtet werden kann. Ob die Wirbelstromprüfung nach dem Absolut- oder Differentialprinzip abzulaufen hat, ist gegenüber der Sondenmatte 4 irrelevant, denn die aussagefähige Auswertung nach einer der genannten Arten ist durch die Wahl des entsprechenden Programmes im Rechner 1 gewährleistet. Diese Option ist immer dann von Vorteil, wenn zu einem verbesserten Nachweis von Fehlern bestimmter geometrischer Orientierung, also der Ausnutzung einer Richtcharakteristik, geschritten werden muss. Die Sondenmatte 4 selbst kann aus einer Anzahl beschichteter Folien bestehen, wobei die sondentragende Folie von der mit dem Bauteil in Berührung stehenden Grundträgerfolie seitlich verschiebbar ist, wobei dann sichergestellt werden muss, dass jene durch geeignete Massnahmen die Grundträgerfolie in möglichst konstantem Abstand folgen kann. Die Empfängerspulen 4n'' der Sondenmatte 4 können durch Hall-Sensoren ersetzt werden. Diese haben den Vorteil, dass sie billiger und einfacher einzubauen sind; des weiteren auch, dass dort die Taktschaltung einfacher einzuleiten ist.

Fig. 3-6 zeigen einige Anwendungsmöglichkeiten der Sondenmatte 4. Bei den hier beispielsweise gezeigten Bauteilen 5, 6, 7, 8 zeigt es sich immer wieder, dass eine hier zum Einsatz kommende Wirbelstromprüfung anhand einer herkömmlichen Tastsonde, bezüglich aussagefähiger Auswertung des Prüfergebnisses, sehr problematisch ist, denn die jeweilige geometrische Form des Bauteils steht der Anwendung einer Tastsonde entgegen.

Demgegenüber zeigt Fig. 3 recht deutlich, wie die Sondenmatte 4 durch einfachste Handreichung auf der Welle 5 platziert werden kann, beispielsweise im Bereich einer nicht gezeigten Wellenschweissnaht, die nach dem Wirbelstromprinzip zu prüfen ist. Die hier von quadratischer Form gezeigte Sondenmatte 4 kann auch zur Prüfung der Innenoberfläche einer nicht gezeigten Axialbohrung eingesetzt werden, oder einer dort inwendig durchgehenden Schweissnaht. Prägnanter in der Anwendung zeigten sich die Vorteile der Sondenmatte bei der Prüfung eines Schaufelblattes 6, wie dies aus Fig. 4 hervorgeht. Die hier zum Einsatz kommende Sondenmatte 4' zeichnet sich durch eine besonders gute Flexibilität aus, damit die unterschiedliche Wölbung der Schau-

felseiten anliegend erfasst werden können.

Aus Fig. 5 geht die Prüfung von Schaufelkanten einer Schaufel 7 hervor. Auch hier muss sich die Sondenmatte 4'' durch eine sehr gute Flexibilität ausweisen, will man die Schaufel 7 bis zu ihren Randzonen erfassen. Auch die Prüfung durch Wirbelstrom von Nutpartien bietet nunmehr

keine Probleme mehr, wie dies Fig. 6 zeigen will. In einer Nute 8 wird die Sondenmatte 4''' plaziert. Selbst bei kleinsten Öffnungen lässt sich eine problemlose Prüfung erstellen, wobei auch hier besonders Augenmerk auf die Flexibilität der Sondenmatte 4' '' gelegt werden muss.

